"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

اثر مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط محیطی اهواز

Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) in environmental conditions of Ahvaz, Iran

کوثر سواری[۱]، اسفندیار فاتح[۲] و امیر آینه‌بند[۳]

چکیده

سواری، ک.، ا. فاتح و ا. آینه‌بند. ۱۴۰۲. اثر مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط محیطی اهواز. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۳): ۳۰۹ -۲۹۴.**

این پژوهش با هدف بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و کودهای شیمیایی بر عملکرد دانه گیاه کاملینا، رقم اصلاح شده سهیل، انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱- ۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاس (K) و گوگرد (S) در سه سطح (N_0-P_0-K0-S_0) (C_1) (شاهد)، (N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}) (C_2) و (N_{100}-P_{100}- K_{80}-S_{200}) (C_3) بودند. کودهای زیستی در شش سطح (عدم تلقیح (B_1) (شاهد)، نیتروکسین (B_2)، فسفات بارور۲ (B_3)، تیوباسیلوس (B_4)، نیتروکسین+ فسفات بارور۲ (B_5) و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس (B_6) بودند. صفات گیاهی مورد ارزیابی شامل تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، محتوای روغن دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد که اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده و بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار)، در تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ بدست آمد. کودهای زیستی در هر سه سطح کود شیمیایی باعث افزایش محتوای روغن دانه کاملینا شدند. بیشترین افزایش عملکرد روغن دانه همانند عملکرد دانه در سطح سوم کود شیمیایی و کود زیستی نیتروکسین+ فسفات بارور۲ بدست آمد (۴۵/۶ درصد) که با سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری داشتند. اگرچه کودهای زیستی به تنهایی، در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح)، تأثیر کمتری بر صفات گیاهی کاملینا داشتند، اما در تلفیق با کودهای شیمیایی، باعث بهبود رشد و عملکرد دانه کاملینا شدند. با توجه به نتایج این تحقیق بهترین تیمار کودی برای افزایش عملکرد و محتوی روغن دانه گیاه کاملینا در شرایط آب و هوایی اهواز، تیمار تلفیقی کود نیتروکسین+ فسفات بارور۲ در هر سه سطح کود شیمیایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، کاملینا، کودهای زیستی، گوگرد و محتوای روغن دانه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارندهٔ اول می‌باشد

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: e.fateh@scu.ac.ir)
۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under environmental conditions of Ahvaz, Iran

Savari. K.[1], E. Fateh[2] and A. Aynehband[3]

ABSTRACT

Savari. K., E. Fateh and A. Aynehband. 2023. Effect of chemical fertilizers and growth promoting rhizobacteria application on seed yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under environmental conditions of Ahvaz, Iran**. Iranian Journal of Crop Sciences. 25(3): 294-309. (In Persian).**

Introduction: Oilseeds have high nutritional value and importance among agricultural crops for providing calories and energy needed by humans, and are the second food source in the world after grains. Since more than 95% of the vegetable oil consumed in Iran is supplied by imports, research in various agronomic practices, especially applied research on rate and application methods of fertilizers in oilseed crops is necssary. Camelina (*Camelina sativa* L.) is an annual plant and belongs to the Brassicaceae family. Biofertilizers are considered as new achievements in organic farming. Today, the use of biofertilizers with the aim of increasing soil fertility and producing products in sustainable agriculture is considered as an alternative to chemical fertilizers. Considering limited studies that have been done on Camelina (*Camelina sativa* L.) in Iran, the purpose of this research is to investigate the effect of combining nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and biofertilizers on the seed yield and yield components of this oilseed crop.

Materials and Methods: This experiment was conducted with the aim of investigating the effects of growth-promoting bacteria and chemical fertilizers on the yield of camelina. The experimental design was factorial arrangements in randomized complete block design with 18 treatments and three replications in 2021-2022 at Research Farm of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Experimental treatments included; nitrogen fertilizer levels based on chemical fertilizer (N_0-P_0-K_0-S_0) (C_1) and (N_{50}-P_{50}-K_{40}-$S1_{00}$)(C_2) and (N_{100}-P_{100}- K_{80}-S_{200})(C_3) and biological fertilizer levels or growth promoting bacteria at six levels included: no inoculation/ control (B_1), Nitroxine (B_2), Phosphate (Barvar2) (B_3), *Thiobacillus* (B_4), Nitroxine+Phosphate (Barvar2) (B_5) and Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus* (B_6). Camelina cv. Soheil was used in this experiment. Urea fertilizer was used as nitrogen, potassium sulfate as potassium, triple superphosphate as phosphorus, and bentonite sulfur as sulfur source. Camelina seeds were inoculated with biological fertlizers.

Results: Results showed that the highest seed yield (2120 $kg.ha^{-1}$) and biological yield (5803 $kg.ha^{-1}$) obtained in Nitroxin + Phosphate (barvar2) treatment. In all three levels of chemical fertilizers, biological fertilizers increased seed oil content. The highest seed oil content (45.1%) was obtained in the control treatment without chemical fertilizers and application of Nitroxin. Compared to the control (no inoculation), biological fertilizers had less effect on camelina plant traits, but in combination with chemical fertilizers, they improved the growth and seed yield of camelina.

Conclusion: According to the results of this experiment, the best fertilizer treatment to increase the seed yield of camelina was the combined treatment of Nitroxin fertilizer + Phosphate (Barvar2) in all three levels of chemical fertilizers.

Key words: Biofertilizers, Camelina, Seed oil content, Sulphur and *Thiobacillus*

Received: November, 2023 **Accepted: December, 2023**

1. Former MSc Student, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Prof., Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (Corresponding author) (Email: e.fateh@scu.ac.ir)
3. Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

مقدمه

امروزه در کشاورزی برای تأمین نیاز غذایی انسان‌ها و در کنار آن حفاظت از محیط زیست، نیاز به راهکارهایی جهت کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و افزایش بهره‌وری از منابع است. کشت گیاهانی مانند گیاه دانه روغنی کاملینا که با کمترین نیاز آبی، کودی و آفت‌کش‌ها، عملکرد مناسبی نسبت به سایر گیاهان دانه روغنی رایج دارد، می‌تواند یک راهکار مناسب جهت تأمین بخشی از نیاز روغن خوراکی کشور باشد (Hassanzadeh Ghorttape and Jawadi, 2016). کاملینا (*Camelina sativa* L) گیاهی جدید و متعلق به خانواده براسیکاسه (Brassicaceae) است که زراعت آن در آسیا و اروپا رایج می‌باشد (Righini *et al*., 2019). دوره رویش این گیاه کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز) است که با اقلیم مناطق نیمه‌خشک سازگاری داشته و معمولا در شرایط آب و هوایی معتدل کشت می‌شود. میوه کاملینا از نوع خورجینک بوده و سطح دانه‌های آن ناصاف است. وزن ۱۰۰ دانه کاملینا در محدوده ۰/۸ تا ۲ گرم متغیر و بذر آن فاقد خواب است (Obour *et al*., 2015). برگ های گیاه کاملینا کوچک، باریک و نوک تیز هستند و طول آنها بین دو تا هشت سانتی متر است. ارتفاع بوته کاملینا بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی متر و دارای سیستم ریشه‌ای عمیق است که البته بسته به نوع خاک و شرایط رشد، متفاوت است (Jankowski, *et al*., 2019). روغن دانه کاملینا یک نمونه از روغن‌های تجدیدپذیر گیاهی است که در صنایع آرایشی و بهداشتی و دارویی مورد استفاده قرار می گیرد. این گیاه یک منبع پایدار انرژی نیز محسوب می‌شود (Chaturvedi *et al*., 2018). افزایش روزافزون تقاضای جهانی برای روغن‌های گیاهی و فشار اقتصادی برای خرید روغن که باعث افزایش واردات می‌شود، اهمیت گسترش برنامه‌های پژوهشی و توسعه کشت دانه‌های روغنی را آشکار می‌سازد (Hasani Balyani *et al*., 2020). با توجه به اینکه بیش از ۹۵ درصد روغن گیاهی مصرفی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود، اجرای پژوهش کاربردی در زمینه‌های مختلف به زراعی گیاهان دانه روغنی از جمله مقدار و نوع کودهای مصرفی، بیش از پیش احساس می‌شود (Fallah *et al*., 2019). بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی در گیاهان دانه روغنی علاوه بر کاهش عوارض زیست محیطی باعث افزایش عملکرد دانه، افزایش روغن دانه، افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، بهبود فعالیت‌های زیستی خاک، کاهش غلظت آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم و بور و افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی می‌شود (Hasani Balyani *et al*., 2020).

باکتری‌ها از فراوان‌ترین و مهم‌ترین ریزجانداران خاک هستند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث کمک به رشد گیاهان می‌شوند (Farina *et al*., 2012). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria; PGPR) روش مناسبی برای جایگزینی کودهای شیمیایی در زراعت‌های فشرده است. این باکتری‌ها در صورت مصرف تلفیقی با کود فسفر، باعث افزایش کارایی مصرف کود، افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت جذب خالص و تجمع ماده خشک، در مقایسه با مصرف کودهای شیمیایی به تنهایی، می‌شود (Fallah Nosratabad., 2012). یکی از روش‌های مناسب در کشاورزی مدرن برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزون بر زمان مناسب مصرف کود، استفاده از کودهای زیستی به ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاهی به صورت تلفیق با کودهای شیمیایی است. این باکتری‌ها به طور طبیعی در خاک وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آنها پایین است، بنابراین تلقیح بذر گیاهان با این باکتری‌ها می‌توانند جمعیت آنها را به حد مطلوب رسانده و باعث افزایش اثرات مفید آنها در خاک شود (Hassani *et al*., 2021). نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف کودهای زیستی همراه با ۵۰ درصد نیاز کودی در ارزن و ذرت باعث افزایش عملکرد آنها شد (Bashan *et al*., 2004). گزارش شده است که کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد، ضمن کاهش میزان

مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، باعث افزایش رشد گیاهان به واسطه افزایش جذب نیتروژن می‌شوند (Wu *et al.*, 2005). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی همراه با کود زیستی باعث بهبود رشد گیاه وافزایش عملکرد دانه و روغن و ترکیبات روغن دانه کاملینا می‌شود (Hasani *et al.*, 2019). بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار کود شیمیایی نیتروژن+ فسفر+ گوگرد همراه با کود زیستی بود که نسبت به شاهد بدون کود زیستی، ۱۱۸/ ۵۵ درصد افزایش داشت.

با توجه به ویژگی‌های گیاه کاملینا در مصارف صنعتی و پزشکی و با توجه به نقش مثبت عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر و گوگرد در رشد و عملکرد این گیاه دانه روغنی و نقش کودهای زیستی در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان زراعی و تقلیل وابستگی به کودهای شیمیایی که در آزمایش‌های مختلف گزارش شده است، این تحقیق با در نظر گرفتن این موضوع و با هدف معرفی و توسعه کشت این گیاه جهت تأمین قسمتی از نیاز جامعه کشاورزی اجرا شد. با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به گیاه کاملینا در کشور، در این پژوهش اثر مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر، گوگرد و کودهای زیستی بر عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گیاه کاملینا مورد توجه بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزیِ دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غرب اهواز اجرا شد. در مدت اجرای آزمایش، مقدار بارندگی سالیانه بر اساس میانگین بلندمدت ۲۰۲ میلی‌متر بوده است. میانگین رطوبت نسبی روزانه هوا ۴۲ درصد و میانگین دمای سالانه ۲۶/۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. قبل از اجرای آزمایش و در زمان آماده‌سازی زمین، از نقاط مختلف مزرعه آزمایشی از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری شد. نمونه مرکب خاک در آزمایشگاه شیمی و تجزیه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، تجزیه شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۵ به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاس (K) و گوگرد (S) در سه سطح (N_0-P_0-K_0-S_0) (C_1) (شاهد)، (N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}) (C_2) و (N_{100}-P_{100}- K_{80}-S_{200}) (C_3) بودند. کودهای زیستی در شش سطح (عدم تلقیح (B_1) (شاهد)، نیتروکسین (B_2)، فسفات بارور۲ (B_3)، باکتری تیوباسیلوس (*Thiobacillus*) (B_4)، نیتروکسین+ فسفات بارور۲ (B_5) و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس (B_6) بودند. کودهای زیستی شامل نیتروکسین (یک لیتر در هکتار)، فسفات بارور۲ (۱۰۰ گرم در هکتار)، تیوباسیلوس (پنج کیلوگرم در هکتار) بودند. کود زیستی فسفات بارور۲ حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات (*Pseudomonas putida* strain P_{13} و *Pantoea agglomerans* strain P_5 است که با تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز در اطراف ریشه، باعث آزاد شدن یون فسفات می‌شوند. این کود از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. کود زیستی نیتروکسین حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم است که باعث تثبیت نیتروژن در خاک می‌شوند. بذر گیاه کاملینا رقم سهیل از شرکت دانش‌بنیان بیستون شفا تهیه شد. طول دوره رویش، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و محتوای روغن دانه این رقم به‌ترتیب ۱۷۰ روز، ۸۸ سانتی‌متر، ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۳۰ درصد است.

در ابتدای آبان سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، با هدف نرم کردن خاک و از بین بردن علف‌های هرز یک‌ساله، زمین مورد نظر دیسک زده شد. ابعاد مزرعه ۱۳ × ۳۶ و مساحت کل زمین ۴۶۸ مترمربع بود. بعد از آماده‌سازی زمین، ۱۸ کرت در ۳ تکرار ایجاد شد و در هر کرت هفت ردیف کاشت با جهت شرقی- غربی ایجاد شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical properties of soil at the expriment site (0- 30 cm)

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg^{-1})	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg^{-1})
لومی- شنی Loamy–Sandy	2.5	0.42	7.63	0.08	11	156

طول و عرض کرت‌ها ۲ × ۳ متر بود. طول هر ردیف کاشت سه متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی متر بود. تراکم بوته‌ها ۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Fallah *et al*., 2019). آبیاری به صورت نشتی و با استفاده از سیفون انجام شد. در سطح اول کود شیمیایی هیچ کودی استفاده نشد (شاهد)، سطح دوم کود شیمیایی شامل ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع کود اوره)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)، ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (از منبع گوگرد بنتونیت‌دار) و سطح سوم کود شیمیایی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بود (Hasani Balyani *et al*., 2020). ۵۰ درصد از کود اوره به‌صورت پایه (۱۴۰۰/۰۸/۱۵) و ۵۰ درصد دیگر در دو مرحله گلدهی (۱۴۰۰/۱۱/۱۵) و ظهور اولین خورجینک‌ها (۱۴۰۰/۱۱/۳۰) به خاک داده شدند. جهت تلقیح بذرهای کاملینا با کودهای زیستی، بذرها به شش قسمت (به تعداد تیمارها) تقسیم و هر قسمت با کود زیستی موردنظر به‌صورت بذرمال تیمار شدند.

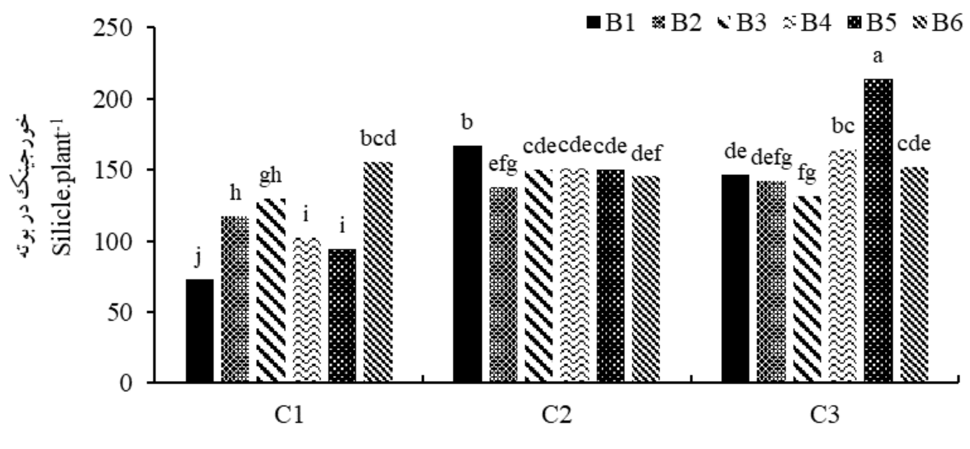
در مرحله رسیدگی محصول (۱۴۰۱/۳/۳)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجینک در بوته، تعداد دانه در خورجینک، وزن هزار دانه)، عملکرد زیستی، میزان روغن دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. پس از برداشت محصول، از بوته‌های برداشت‌شده هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد انتخاب شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۹۰-۸۵ درصد دانه‌های خورجینک‌ها به رنگ قهوه‌ای متمایل می‌شوند)، ۱۰ بوته از کل ردیف‌های هر کرت، پس از حذف حاشیه‌ها، از هر واحد آزمایشی انتخاب تعداد خورجینک‌ها در هر بوته شمارش شدند. از ۱۰ بوته‌های برداشت‌شده از هر کرت، ۱۰عدد خورجینک جدا و تعداد بذرهای آنها شمارش شدند. برای محاسبه وزن هزار دانه، از دانه‌های برداشت‌شده از هر واحد آزمایشی، یک نمونه ۲۰۰ تایی تصادفی از دانه‌ها شمارش شده و با استفاده از ترازوی دقیق توزین و سپس وزن هزار دانه محاسبه شد. برای تعیین عملکرد دانه از هر کرت بوته‌های واقع در سه مترمربع برداشت شده و دانه‌های آنها جداسازی و توزین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی، پس از کف بر نمودن بوته‌های هر کرت آزمایشی، قبل از جدا کردن دانه‌ها از خورجینک‌ها، وزن خشک کل بوته‌ها پس از خشکاندن در آون اندازه‌گیری شد (Shirani Rad *et al*., 2013). محتوای روغن با استفاده از دستگاه سوکسله (FOSS, SOCCET 2050, Sweden) و با روش تغییرات وزنی اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن از حاصلضرب میزان روغن دانه در عملکرد دانه محاسبه شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه شد.

داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه شدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ انجام شد. ضرایب همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS

(نسخه ۹/۱) محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آن‌ها بر تعداد خورجینک در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌های تعداد خورجینک در بوته در برهمکنش کود زیستی و کود شیمیایی نشان داد که افزایش مقدار مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش تعداد خورجینک در بوته شد و تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ با میانگین ۲۱۳/۸ خورجینک در بوته، برتر بود و باعث افزایش ۴۶ درصدی تعداد خورجینک در بوته نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین در سطح اول کود شیمیایی، نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس، بالاتر از سایر کودهای زیستی و شاهد بود. در سطح دوم کود شیمیایی، کودهای زیستی بر تعداد خورجینک در بوته اثر منفی داشت و سه کود فسفات بارور۲، تیوباسیلوس و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). در شرایط کاهش تعداد بوته، افزایش تعداد خورجینک در بوته باعث جبران تفاوت عملکرد دانه در گیاه کاملینا شده و باعث حفظ عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که تعداد خورجینک بارور در بوته کاملینا عامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد دانه است (Jankowski *et al*., 2019). نتایج مختلفی از نظر میزان تأثیرپذیری این جزء مهم عملکرد از عوامل محیطی مانند کود نیتروژن و دمای فصل رشد گزارش شده است. اثر کودهای زیستی بر تعداد خورجینک در بوته در این آزمایش مثبت بود. مصرف مقادیر مناسب کودهای شیمیایی از طریق بهبود فعالیت کودهای زیستی، باعث افزایش تعداد خورجینک در بوته شد. یساری و پاتورادان (Yasari and Patwardhan, 2007) نیز اثر مثبت کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را مربوط به تعداد خورجینک در بوته در گیاه کلزا گزارش کردند.



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد خورجینک در بوته کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 1. Mean comparison of number of silicle per plant of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

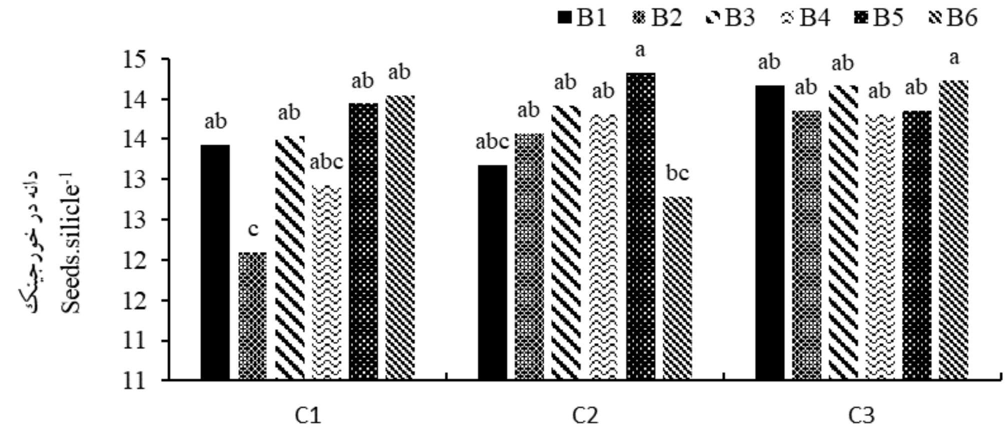
B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

اثر کودهای شیمیایی بر تعداد دانه در خورجینک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و اثر کود زیستی و برهمکنش کود شیمیایی و کود زیستی غیرمعنی‌دار بود. بین کودهای زیستی در سطح دوم و سوم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح سوم کودهای شیمیایی بین کودهای زیستی و تیمار بدون مصرف کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تعداد دانه در خورجینک در سطح دوم کود شیمیایی و نیتروکسین+ فسفات بارور۲ (۱۴/۳ عدد) نسبت به شاهد (۱۳/۱ عدد)، نه درصد بیشتر بود. در مجموع باکتری‌های زیستی اثر محسوسی بر تعداد دانه در خورجینک نداشتند (شکل ۲). کمترین تعداد دانه در خورجینک ۱۲/۱ عدد در تیمار کود زیستی نیتروکسین و سطح اول کود شیمیایی به‌دست آمد که نشان‌دهنده اثر منفی این تیمار روی تعداد دانه در خورجینک بود. تعداد دانه در خورجینک ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخازن بزرگ‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و افزایش آن باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Hasani Balyani *et al*., 2020). با توجه به اینکه کاهش یکی از اجزای عملکرد معمولاً باعث افزایش سایر اجزای عملکرد شده و تحت تأثیر خاصیت جبرانی اجزای عملکرد می‌شود و از آنجاکه وزن هزار دانه معمولاً کمتر دچار تغییر می‌شود، بیشترین تغییر در تعداد دانه در خورجینک مشاهده می‌شود. نتایج برخی آزمایش‌ها همبستگی بسیار بالایی بین عملکرد دانه و تعداد دانه در خورجینک را نشان داده است (Mehnaz and Lazarovits, 2006). بنابراین به نظر می‌رسد که مصرف کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد و تلفیق آن‌ها، با فراهمی عناصر مهم غذایی و ریزمغذی‌ها باعث بهبود تعداد دانه در خورجینک شد. باکتری‌های محرک رشد با افزایش رشد ریشه از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید، باعث اشغال حجم بیشتری از خاک شده و سطح جذب عناصر افزایش یافته و از این طریق باعث افزایش تعداد دانه در خورجینک می‌شود (Patten and Glick., 2006). نتایج نشان داد که وجود باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر با توجه به نقش فسفر در تحریک رشد زایشی و تشکیل دانه، باعث افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود (Hassanzadeh Ghorttape & Javadi, 2016). گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی همراه با مقدار کاهش یافته از کودهای شیمیایی در گیاه کنجد، باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول شد (Kumar *et al.*, 2009). در آزمایش حاضر اثر کودهای زیستی بر تعداد دانه در خورجینک مثبت بود. مصرف مقادیر مناسب کودهای شیمیایی از طریق بهبود فعالیت کودهای زیستی باعث افزایش تعداد دانه در خورجینک شد. به‌نظر می‌رسد که کاهش تعداد دانه در خورجینک با مصرف توأم نیتروکسین و فسفات بارور۲ در سطح سوم کودهای شیمیایی به‌دلیل ایجاد توازن با سایر اجزای عملکرد دانه باشد.

اثر کودهای زیستی و کودهای شیمیایی و برهمکنش آنها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سطح دوم کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای زیستی تیوباسیلوس، نیتروکسین+ فسفات بارور۲ و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس باعث افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد. در سطح سوم کودهای شیمیایی، تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به سایر کودها در این سطح و سایر سطوح کودهای شیمیایی شد و وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد ۳۰ درصد افزایش یافت (به‌ترتیب ۱/۷۸ گرم و ۱/۳۸ گرم). در سطح اول کودهای شیمیایی مصرف کودهای زیستی نه‌تنها تأثیری بر افزایش وزن هزار دانه نداشت، بلکه در تیمارهای نیتروکسین و تیوباسیلوس به‌ترتیب ۱۹ و ۳۰ درصد کاهش وزن هزار دانه مشاهده شد (شکل

۳). گزارش شده است که استفاده از باکتری آزوسپیریلوم همراه با ۵۰ درصد کود کامل شیمیایی (براساس آزمون خاک) اثر مثبتی بر وزن هزار دانه کلزا دارد (Faraji and Arzanesh, 2013).

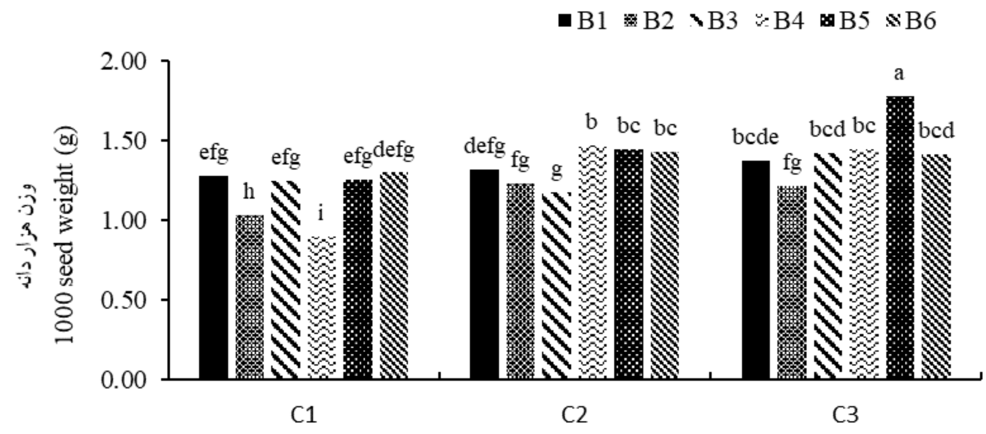


شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 2. Mean comparison of number of seeds per plant of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن هزار دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

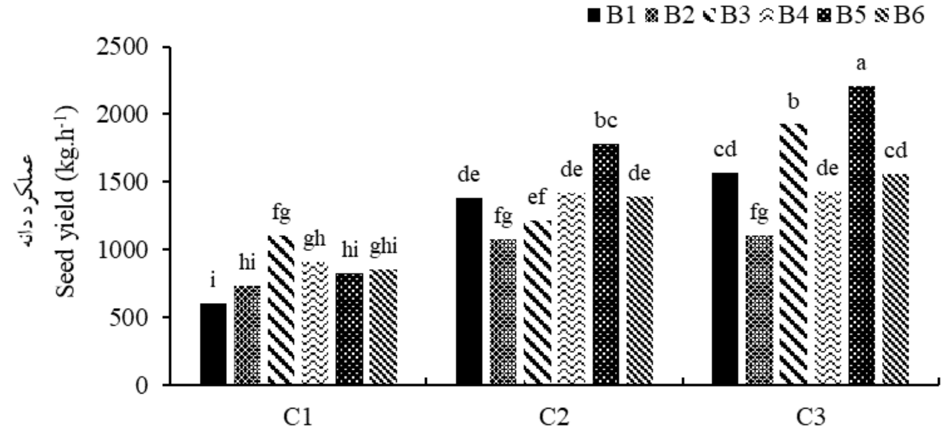
Fig. 3. Mean comparison of 1000 seed weight of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها در هر سطح کود شیمیایی و کودهای زیستی، به‌ویژه نیتروکسین+ فسفات بارور۲، نشان داد که عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲، باعث افزایش عملکرد دانه در سطوح اول، دوم و سوم کود شیمیایی (به‌ترتیب ۳۸، ۲۹ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد بدون تلقیح با کودهای زیستی) شد. تیوباسیلوس نیز در سطح اول کود شیمیایی باعث افزایش ۵۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، اما در سطح دوم و سوم کود شیمیایی، تفاوت معنی‌داری با سطح صفر کود زیستی یا شاهد مشاهده نشد. کود نیتروکسین نیز در سطح اول کود شیمیایی با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، اما با افزایش سطح کود شیمیایی، عملکرد دانه نسبت به شاهد یا سطح صفر کود زیستی (به‌ترتیب در سطح دوم و سوم کود شیمیایی ۲۲ و ۱۸ درصد) کاهش یافت. درمجموع سه سطح کود شیمیایی، بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح سوم کود شیمیایی و نیتروکسین+ فسفات بارور۲ و کمترین مقدار عملکرد دانه (۵۵۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در سطح اول کود شیمیایی و سطح صفر کود زیستی به‌دست آمد (شکل ۴). نتایج یک آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که اجرای آبیاری (علاوه بر بارندگی) و مصرف کود نیتروژن باعث افزایش مقدار محصول و محتوای روغن دانه کاملینا شد (Kevin *et al.*, 2019). گزارش شده است که تلقیح بذر با آزوسپیریلوم علاوه بر صرفه‌جویی در کود نیتروژن، در مقایسه با مقدار مشابه کود نیتروژن، باعث رشد بهتر گیاه و افزایش مقدار محصول آن شود. تلقیح بذر گندم و ذرت با باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش فراهمی و جذب فسفر، محتوای کربن آلی، فعالیت آنزیمی و جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات در خاک و افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد می‌شود. مصرف این باکتری‌ها در خاک، تأثیر بیشتری در افزایش حاصلخیزی خاک داشت (Kaur and Reddy, 2014). گزارش شده است که مصرف کودهای زیستی باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه گلرنگ شد (Mohsen Nia and Jalilian, 2011). میرزاپور و همکاران (Mirzapour *et al.*, 2018) نیز گزارش کردند که با مصرف گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس در زراعت کلزا، علاوه بر کاهش اسیدیته و افزایش قابلیت دسترسی فسفر، روی و آهن خاک، بیشترین عملکرد دانه به‌دست آمد. نتایج یک آزمایش نشان داد که گیاه کاملینا به مصرف مقادیر بالای نیتروژن واکنش مثبت دارد (Jang and Claude, D. Caldwell, 2016).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای شیمیایی و کودهای زیستی و برهمکنش آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف کودهای زیستی در سطوح مختلف کود شیمیایی باعث افزایش عملکرد زیستی نسبت به شاهد شد. در سطح اول کود شیمیایی بالاترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار فسفات بارور۲ و در سطوح دوم و سوم کود، بالاترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ بود، اما کود زیستی فسفات بارور۲ در سطح دوم کود شیمیایی اثر کاهنده داشت و مقدار عملکرد زیستی نسبت به شاهد (بدون کود زیستی) به‌طور محسوسی کاهش یافت، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد زیستی (۳۱۷۵ کیلوگرم در هکتار) در سطح اول کود شیمیایی (سطح صفر) به ۴۶۳۲ کیلوگرم در هکتار در سطح دوم کود شیمیایی و ۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار در سطح سوم کود شیمیایی و نیتروکسین+ فسفات بارور۲ رسید. تیوباسیلوس در سطح سوم کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری با سه تیمار فسفات بارور۲، نیتروکسین+ فسفات بارور۲ و نیتروکسین+



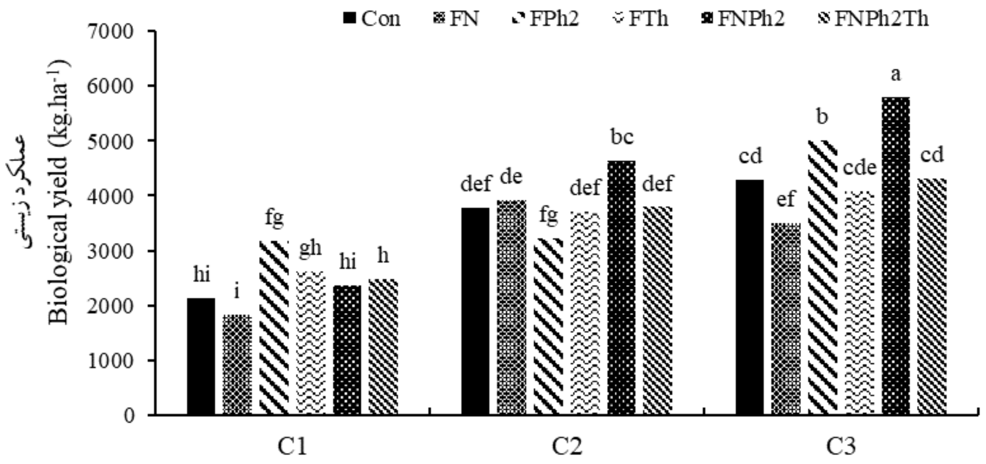
شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 4. Mean comparison of seed yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس نداشت و عملکرد زیستی نسبت به شاهد ۲۳ درصد افزایش یافت، درحالی‌که در سطوح دوم و سوم کود تأثیری بر عملکرد زیستی نداشت. نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس اگرچه در سطح دوم و سوم کود شیمیایی با تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری نداشت، اما باعث افزایش عملکرد زیستی (به‌ترتیب ۶/۰۹ و ۲/۲۲ درصد) نسبت به تیوباسیلوس شد. فسفات بارور۲ در سطح دوم کود تفاوت معنی‌داری با تیوباسیلوس و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس نداشت و باعث کاهش عملکرد زیستی به‌میزان ۱۴/۴۶ درصد شد. درمجموع بیشترین عملکرد زیستی از سطح سوم کود شیمیایی و تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ با میانگین ۵۸۰۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار عملکرد زیستی در سطح اول کود و از تیمار نیتروکسین با میانگین ۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج نشان داد که استفاده از مقادیر مختلف کود شیمیایی و تلفیق آن با نیتروکسین و فسفات بارور۲، باعث افزایش عملکرد زیستی گیاه کاملینا نسبت به تیمار شاهد شد. به نظر می‌رسد که تلفیق باکتری‌های محرک رشد و کودهای شیمیایی تأثیر بهتری را نسبت به کود شیمیایی اوره داشتند. این موضوع می‌تواند به دلیل فراهمی نیتروژن و فسفات در فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش حلالیت فسفات توسط این باکتری‌ها باشد. به‌علاوه، این باکتری‌ها در فراهم‌سازی سایر مواد غذایی برای گیاه نیز مؤثر هستند (Bakhshaie *et al*., 2014). این تأثیر ممکن است به علت افزایش میزان جذب نیتروژن و تولید تریپتوفان (پیش‌ساز هورمون اکسین) توسط باکتری‌های کودهای زیستی باشد. اسیدهای آلی آزاد شده از ریز جاندارانی نظیر باسیلوس و سودوموناس نیز علاوه بر فسفر، باعث آزادسازی منگنز، روی، آهن و منیزیوم از کمپلکس‌های خاک شده و حلالیت فسفات خاک در حضور اسیدهای آلی تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Jones and Darrah, 1996).



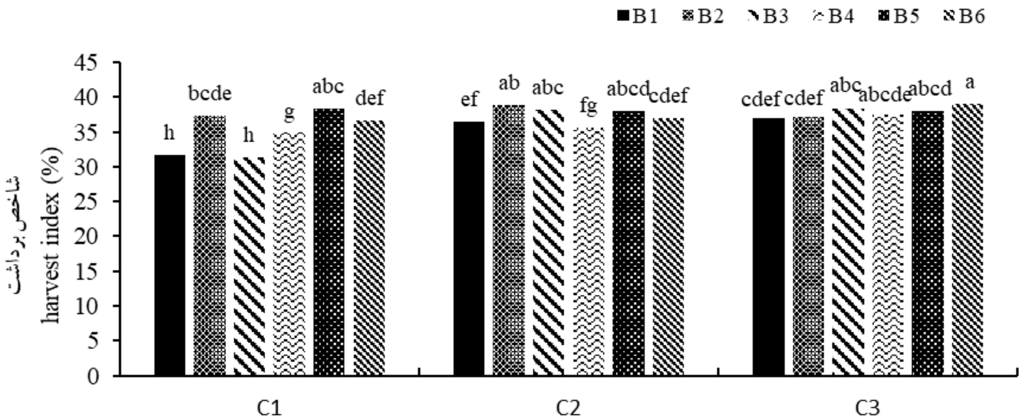
شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد زیستی کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 5. Mean comparison of biological yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

شاخص برداشت نشان دهنده توانایی گیاه برای انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است (Kumar *et al*,, 2009). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای کودهای شیمیایی و کودهای زیستی زیستی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت کاملینا داشتند. نتایج برش دهی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین شاخص برداشت در تیمارهای کودهای زیستی در سطح اول و دوم (در سطح احتمال یک درصد) و سطح سوم (در سطح احتمال پنج درصد) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ در هر سه سطح کود شیمیایی باعث افزایش شاخص برداشت شد، اما این افزایش تنها در سطح اول و دوم کود شیمیایی معنی‌دار بود.. نیتروکسین در سطح اول و دوم کود شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار شاخص برداشت کاملینا شد. میزان افزایش شاخص برداشت در این تیمار در سطح اول و دوم کود شیمیایی به‌ترتیب ۱۸ و ۶ درصد بود. شاخص برداشت در همین تیمار در مقایسه با شاهد کودهای زیستی بالا بود. کمترین مقدار شاخص برداشت (۳۱/۳ درصد) در کود فسفات بارور۲ و سطح صفر کود شیمیایی و (۳۱/۷ درصد) در شاهد (بدون کود زیستی) و سطح اول کود شیمیایی به‌دست آمد. افزایش در وزن کل گیاه به‌وسیله ریزوباکترها در اثر افزایش جذب عناصر غذایی و رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند باعث افزایش شاخص برداشت شود. نتایج سایر آزمایش‌ها نشان داد که تیمارهای کود نیتروژن، تلقیح بذر با باکتری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت کلزا اثر معنی‌داری داشت و برهمکنش بین تیمارها نیز نشان داد که با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن همراه با باکتری‌های ازتوباکتر و آزسپریلوم، شاخص برداشت نسبت به شاهد ۶/۲۹ درصد افزایش داشت. استفاده هم‌زمان از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و ازتوباکتر باعث افزایش بیشتر عملکرد دانه کلزا نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها شد که این موضوع مؤید هم‌افزایی اثر کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی است (Hassanzadeh and Javadi, 2014).



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص برداشت کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

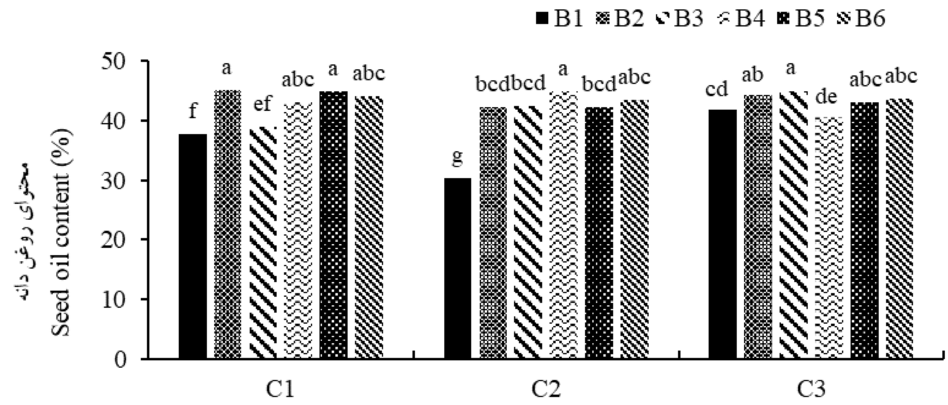
Fig. 6. Mean comparison of biological harvest index of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس
C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثرات متقابل کود شیمیایی و کود زیستی روی درصد روغن نشان داد که در سطح اول کود شیمیایی، استفاده از نیتروکسین و کود ترکیبی نیتروکسین+ فسفات بارور۲، باعث افزایش محتوای روغن به میزان ۱۹/۶ و ۱۹/۰۹ درصد نسبت به شاهد بدون کود زیستی شد که البته با تیمارهای تیوباسیلوس و نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری نداشتند. در سطح دوم کود شیمیایی، مصرف هر پنج کود زیستی باعث افزایش ۳۹/۲ تا ۴۸/۲ درصدی روغن دانه نسبت به شاهد شدند. در سطح دوم کود شیمیایی، تیمار تیوباسیلوس باعث افزایش بیشتری در محتوای روغن دانه شد. در سطح سوم کود شیمیایی، فقط تیمار تیوباسیلوس باعث کاهش سه درصدی روغن نسبت به شاهد و بدون اختلاف معنی‌دار با آن شد. سایر کود های زیستی باعث افزایش محتوای روغن دانه شدند و کود فسفات بارور۲ از این نظر برتری داشت (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد روغن دانه کاملینا در سطح اول کود شیمیایی نشان داد که استفاده از هر پنج کود زیستی باعث افزایش عملکرد روغن نسبت به شاهد بدون کود زیستی شد و بیشترین نیزان افزایش (۹۳/۵ درصد) مربوط به تیمار فسفات بارور۲ و کمترین میزان افزایش (۴۵/۹ درصد) مربوط به نیتروکسین بود. اثر مثبت کود زیستی بر عملکرد روغن در این سطح که مصرف صفر کود شیمیایی صفر بود، کاملا مشهود بود. در سطح دوم کود شیمیایی، عملکرد روغن نسبت به سطح اول در کلیه تیمارها افزایش داشت. بیشترین میزان افزایش مربوط به تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲ بود که عملکرد روغن آن ۷۱۹/۷ کیلوگرم در هکتار بود. بین تیمار شاهد و نیتروکسین و کود فسفات بارور۲ تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تیمار تیوباسیلوس در این سطح نیز باعث افزایش عملکرد روغن شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح سوم کود شیمیایی، بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار ترکیبی نیتروکسین+ فسفات بارور۲ بود که باعث افزایش ۴۵/۶ درصدی عملکرد روغن شد و با سایر تیمارهای آزمایش تفاوت معنی‌داری داشت. در تیمار نیتروکسین+ فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس عملکرد روغن افزایش ۱۴/۷ درصدی در مقایسه با شاهد داشت که البته معنی‌دار نبود. سایر تیمارهای کودهای زیستی نیز با

شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به رابطه معکوس محتوای روغن دانه و نیتروژن، افزایش پیش ماده‌های پروتئینی مانند کود نیتروژن، باعث افزایش محتوای پروتئین دانه و کاهش روغن دانه می‌شوند. در همین رابطه نتایج مشابه توسط جانکووسکی (Jankowski *et al.*, 2019) گزارش شده است که با افزایش مصرف کود نیتروژن، محتوای روغن دانه کاملینا کاهش یافت. با افزایش مصرف نیتروژن، تولید پروتئین افزایش و سنتز روغن کاهش پیدا می‌کند و این موضوع باعث کاهش محتوای روغن دانه و افزایش نسبت پروتئین دانه می‌شود. در آزمایش حاضر نیز به علت بالا بودن عملکرد دانه در تیمار ترکیبی نیتروکسین+ فسفات بارور۲، برتری عملکرد روغن مشاهده شد که با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد (Gryndler *et al.*, 2008).



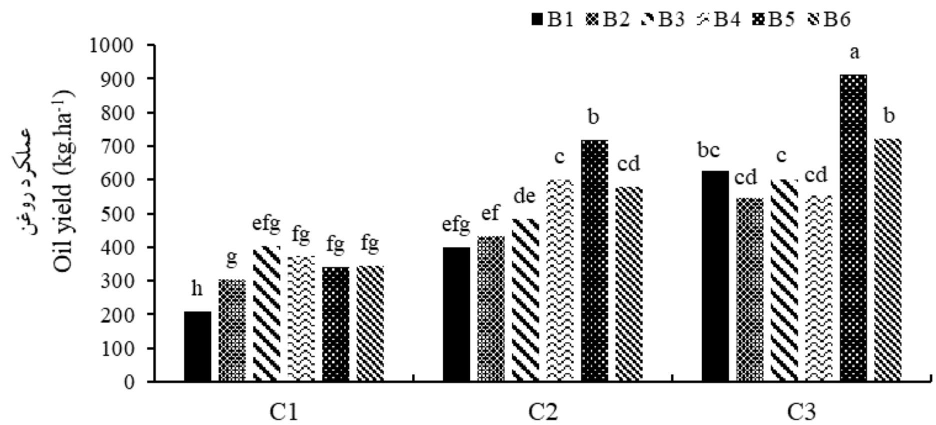
شکل ۷- مقایسه میانگین محتوای روغن دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 7. Mean comparison of seed oil content of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس

C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}



شکل ۸- مقایسه میانگین عملکرد روغن دانه کاملینا در برهمکنش تیمارهای کود زیستی و کود شیمیایی

Fig. 8. Mean comparison of oil yield of camelina in interaction of biofertilizer and chemical fertilizer treatments

B_1: بدون تلقیح (شاهد)، B_2: نیتروکسین ، B_3: فسفات بارور۲، B_4: تیوباسیلوس، B_5: نیتروکسین + فسفات بارور۲، B_6: نیتروکسین + فسفات بارور۲+ تیوباسیلوس

C_1: N_0-P_0-K_0-S_0 (شاهد)، C_2: N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100} ، C_3: N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

B_1, No inoculation (Control); B_2, Nitroxin; B_3, Phosphate (Barvar2); B_4, *Thiobacillus*; B_5, Nitroxin + Phosphate (Barvar2); B_6, Nitroxin + Phosphate (Barvar2) + *Thiobacillus*. C_1, N_0-P_0-K_0-S_0 (Control); C_2, N_{50}-P_{50}-K_{40}-S_{100}); C_3, N_{100}-P_{100}-K_{80}-S_{200}

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کودهای زیستی نیتروکسین+ فسفات بارور۲ در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشتند. افزایش میزان مصرف کودهای شیمیایی باعث بهبود صفات مربوط به عملکرد گیاه کاملینا شد. به‌نظر می‌رسد که بین باکتری‌های مورد استفاده در آزمایش حاضر از نظر جذب عناصر غذایی و اثر روی صفات گیاهی کاملینا، رقابت وجود داشته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای زیستی با کودهای شیمیایی، باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی شده و باعث افزایش عملکرد دانه و محتوای روغن دانه گیاه کاملینا شد و با توجه به نقش آنها در کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌تواند برای استفاده در سطح وسیع مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه این پژوهش که قسمتی از قرارداد پژوهانه شماره SCU.AA1400.309 می‌باشد، سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده References

Bashan, Y., Holguin, G., and de-Bashan, L. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental. *Canadian Journal of Microbiology,* 50(8), pp.521–577. https://doi.org/10.1139/w04-035

Bakhshaie, S., Rezvani Moghaddam, P. and Goldani, M. 2014. The Effects of Nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3), pp.360-368. [In Persian]. DOI: 10.22067/gsc.v12i3.42211

Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S. K. and Kaushik, G. 2018. *Camelina sativa*: An Emerging Biofuel Crop. pp.1-38. *In:* Hussain C. (Ed.). Handbook of Environmental Materials Management. Springer, reference https://doi.org/10.1007/978-3-319-73645-7_110

Farina, R., Beneduzi, A., Ambrosini, A., de Campos, S. B., Lisboa, B. B., Wendisch, V., Vargas, L. K. and Passaglia, L. M. 2012. Diversity of plant growth-promoting rhizobacteria communities associated with the stages of canola growth. *Applied Soil Ecology*, 55, pp.44-52. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.12.011

Fallah, F., Kahrizi, D., Rezaeizad, A., Zebarjadi, A. R. and Zarei, L. 2019. Evaluation of genetic variation and parameters of fatty acid profile in doubled haploid lines of *Camelina sativa* L. *Plant Genetic Researches*, 2(6), pp.79-96. [In Persian]. DOR: 10.29252/pgr.6.2.79

Fallah Nosratabad, A. R. 2012. Evaluation of relationships between soil properties and total bacteria and fungi in soils of Guilan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production,* 2(2), pp.49-68. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23221267.1391.2.2.3.5

Faraji, A. and Arzanesh, M. H. 2013. The response of two rapeseed genotypes to growth-promoting bacteria (*Azospirillum spp*.): yield and components of grain yield, dry matter and harvest index. *Seed and Plant Production Journal*, 29(1), pp.17-29. [In Persian]. DOI: 10.22092/SPPJ.2017.110497

Gryndler, M., Sudova, R., Puschel, D., Rydlova, J., Janouskova, M. and Vosatka, M. 2008. Cultivation of high-biomass crops on coal mine spoil banks: can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter? *Bioresorce Technology*, 99(14), pp.6391-6399. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.059

Hasani Balyani, M., Tadayon M. R. and Fadaei Tehran, A. A. 2020. Evaluation of some growth and yield traits of *Camelina sativa* L. under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Crop Production and Processing,* 10(1), pp.1-14. [In Persian]. DOR: 10.47176/jcpp.10.1.209111

Hassani, M., Tadayon, M. R., and Fadaei Tehrani, A. A. 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in *Camelina sativa* L. *Journal of Crop Production and Processing,* 10(45), pp.123-140. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.4.2

Hassanzadeh Ghorttape, A. and Javadi, H. 2016. Investigating the effects of nitrogen fertilizer application and inoculation with biological fertilizers (*Azosprilum* and *Azotobacter*) on the yield, yield components and oil of spring rapeseed in West Azerbaijan. *Journal of Plant Production and Processing,* 5(18), pp.39-50. [In Persian]. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.39

Jankowski, K. J., Sokolski, M. and Kordan, B. 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Indutrial Crops and Products,* 141, 111776. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776

Jiang, Y., and D. Caldwell, C. 2016. Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and downy mildew infection. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(1), pp.17-26. https://doi.org/10.1139/cjps-2014-0348

Jones, D. L. and Darrah, P. R.1996. Re-sorption of organic compounds by roots of (*Zea mays* L.) and its consequences in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 178, pp.153-160. https://doi.org/10.1007/BF00011173

Kumar, S., Pandey, P. and Maheshwari, D. K. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. *European Journal of Soil Biology,* 45, pp.334-340. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.04.002

Kevin, B., Douglas J. H. and Kelly, T. 2019. Nitrogen fertilizer and irrigation effects on seed yield and oil in camelina. *Agronomy Journal,* 111(4), pp.1712-1719. https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0644

Kaur, G. and Reddy, M. S. 2014. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocational sites. *European Journal of Soil Biology*, 61, pp.35-40. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.12.009

Mehnaz, S. and Lazarovits, G. 2006. Inoculation effects of *Pseudomonas putida, Gluconacetobacter azotocaptans,* and *Azospirillum lipoferum* on corn plant growth under greenhouse conditions. *Microbial Ecology,* 51(3), pp.326-335. https://doi.org/10.1007/s00248-006-9039-7

Mohsen Nia, O., and Jalilian, J. 2011. Effect of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Ecology,* 4(3), pp.235-245. [In Persian]. DOI: 10.22067/JAG.V4I3.15312

Mirzapour, M. H., Khavazi, K. and Naeini, M. R. 2018. Effect of sulfur, *Thiobacillus* and phosphorous application on canola yield and some soil chemical characteristics. *Journal of soil Biology,* 2(5), pp.109-121. [In Persian]. DOI: 10.22092/SBJ.2018.115683

Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E. and Jeliazkov, D. V. 2015. Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA great plains. *Advance in Plants and Agricultural Research,* 2(2), pp.1-10. https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043

Patten, C. L. and Glick, B. R. 2006. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environtal Microbiology,* 68(8), pp.3795-3801. https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002

Righini, D., Zanetti, F., Martinez, E., Mandrioli, M., Toschi, T. G. and Monti, A. 2019. Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. *Industrial Crops and Product,* 137, pp.66-73. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.009

Shirani Rad, A. H., Jabbari, H. and Dehshiri, A. 2013. Evaluation of spring rapeseed cultivars response to spring and autumn planting. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 11(3), pp.493-505. [In Persian]. DOI: 10.22067/gsc.v11i3.29755

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C. and Wong, M. H. 2005. Effect of biofertilizer conaining N-fixer, P and K solubilizers and AM fingi on maize growth: a greenhouse terial. *Geoderma,* 125(1-2), pp.155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yasari, E. and Patwardhan, A. M. 2007. Effects of *Aztobacter* and *Azospirillium* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Science,* 6, pp.77-82. https://doi.org/10.3923/ajps.2007.77.82